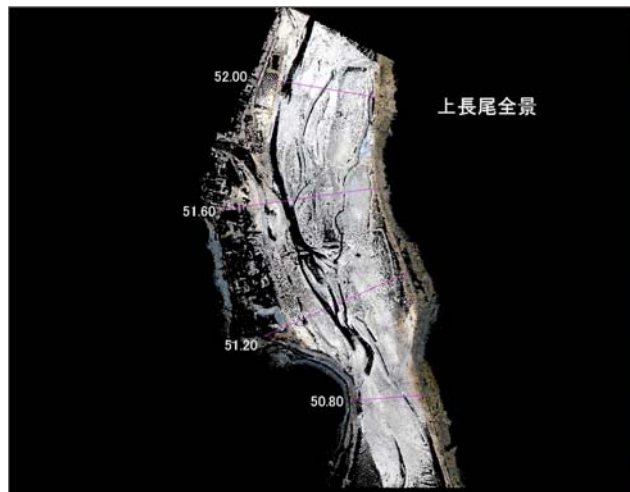


地上形レーザスキャナとVRS-RTKによる 河川計測手法について

伊藤与志雄
By Yoshio,Ito



1. はじめに

わが国の国土は環太平洋造山帯に位置し、その成因から地質が脆弱で地形も急峻であるため山地の侵食が生じやすい。山地部で生産された土砂は河川をとおして下流に運ばれ、谷の出口で礫主体の扇状地を、さらに下流に移動すると砂・泥主体の沖積平野を形成し海に至っている。この土砂は、海域では沿岸域に堆積したり、また漂砂となって移動し海岸地形を形成している。

戦後の経済成長は、土砂移動に対して大規模な人為的インパクトを加えた。土砂災害防御のための砂防ダム建設や植林事業による荒地の減少、水資源開発や洪水防御のための大規模なダム貯水池の建設、洪水流下能力増大のための掘削や建設資材利用のための河道の砂利採取などである。これにより、河川への土砂供給の減少がはじまり現在に至っている。

現在、一級河川大井川の県管理区間は（河口より 24,0k~72,0k）の内の土砂管理計画は毎年行なう 400m ピッチの定期横断測量により 48km 区間の土量、平均河床の比較（年ごと比較）を行い、静岡県として土砂移動の現状調査分析を行い検討している。

しかし国土交通省河川審議会において総合的な土砂管理の目的とする所の「時間的・空間的な拡がりをもった土砂移動の場（「流砂系」）において、それぞれの河川・海岸の特性を踏まえて、国土マネジメントの一環として適切な土砂管理を行なう」為には従来の管理手法では限界がある。

理想的な検証方法として、時系列に河道状況の三次元データを取り出す事が出来る空中写真測量や航空レーザ計測による判読方法も考えられるが、空中写真測量は

- (1) 精度の確保が難しい事
 - (2) 河道微地形データの形成の際に技術者の主観が入りやすく熟練を要する事
- 等の問題点がある。

一方航空レーザを用いた手法も考えられるが、

- (1) コストがかかる
- (2) 従来の定期横断測量との関連付けが難しい

等の問題点がある。

そこで時間的・空間的な広がりを持った土砂移動の場を時系列的に判読する事を目的として一定区間の微地形河道モデルを作成し今後の土砂管理計画に資する為に、精度及び計測スピードに優れる地上形レーザスキャナ（以下地上形LS）とVRS-RTKGPS（仮想基準点、リアルタイム測位）を組み合わせた手法により計測を行なう方法で一級河川大井川による一定区間（上長尾：50.6km～52.2km、崎平 62.6km～64.2km）、一級河川安倍川（静岡市葵区田町：4.0km～6.0km）において計測業務を行なった事例を紹介する。

2. 計測の特色

流域広範囲を計測する場合は航空レーザ計測による手法が有効である（実際国土交通省管理区間で行なっている）が、局所においての微地形数値地形モデルを作成するには地上形LSによる手法が有効である。

本計測の特色は次のように要約される。

- (1) リーグル社製地上形LS（LMS-Z420i）と光波測距儀を比較すると測定距離について測定原理が基本的に違うため単純に比較することはできないが、X軸方向の距離精度について比較してみると地上形LSは±10mmに対し光波測距儀±5mmであり高い精度を保持することができる。**（表2-1）**
- (2) 機械原点を中心に距離は半径1キロ・上下方向80度・水平方向360度の空間情報を10分程度で計測。（リーグル社製地上形LS）
- (3) 一度の計測で大量のデータ取得（8000点/秒）
- (4) ノンミラー計測の為安全性に優れる。
- (5) 計測スピードにより計測費の大幅なコストダウン。
- (6) データ取得は自動化の為、技術者の主観が入らない。
- (7) 安全な赤外線を使用「JISレーザ製品の安全基準」する。（JIS C 6802:2005）

- **AEL値（被ばく放出限界）はクラス1**

地上形LSの大きな特徴は空中写真測量が現地に設けた対空標識を写真から判読し3次元現地データを作成していくのに対して、現地に任意に設置した評定点にて公共座標系にデータを補正することから3次元現地データ（微地形モデル）を作成するのに大幅な時間短縮が可能という点にある。

また従来の光波測距儀と比較しても精度がほとんど劣らない為、従来管理手法である横断図との比較検証も行なえることから、過去のデータを無駄にすることもなくなる利点もある。

機種	分解能	測定距離	距離精度		ビーム拡がり角	データ取得
			1測定誤差	誤差比率 m		

LMS-Z420i	5mm	2m～1km	±10mm	2mm/350	20mm/100m	8,000点/秒
光波測距儀	—	2000m以上	±5mm	1mm/350	—	200～300点/日

表2-1

地上形L Sと航空写真測量との比較表(図2-1)及び、地上形L Sと航空レーザ測量との比較表(図2-2)を比較するとそれぞれの利点欠点が明らかであるが、共通して言える事は計測費用のコストダウンに地上形L Sは大きく寄与する事がよく判る。

	地上形レーザ測量	航空写真測量
図面縮尺(高さ)	● 1/250	△ 1/2,500
等高線	● 0.5mコンター	△ 2mコンター
地形情報	◎ 多くの部分で地形を計測	× 経験による推測や現地調査資料
地物	◎ 認識可能(デジタルカメラ搭載)	○ ほぼ認識可能
微地形情報	◎ 等高線に微小な凹凸表現	△ 編集による均一な形状
色彩情報	◎ 有	◎ 有
計測又は撮影条件	○ 天気や日照の影響少	△ 晴天
緊急時の対応	◎ 現地に立ち入る必要がないため、災害発生後でも安全に作業の実施が可	△ 迅速性や計測精度、安全性などの点で限界
自動化の可能性	◎ 全てがデジタルデータであるため自動処理に向いている	○ アナログ航空写真の場合はデジタル画像に変換
データ処理	◎ 直接デジタルデータを自動的に取得するため熟練度に依存しない	× 図化作業は、時間がかかることや熟練度によっても影響を受けやすい

図2-1

	地上形レーザ測量	航空レーザ測量
図面縮尺(高さ)	◎ 1/250	○ 1/1,000
等高線	◎ 0.5mコンター	○ 1mコンター
樹木下の地形情報	◎ 多くの部分で地形を計測	◎ 多くの部分で地形を計測
地物	◎ 認識可能(デジタルカメラ搭載)	× 不明瞭(高さのみの表現)
微地形情報	◎ 等高線に微小な凹凸表現	◎ 等高線に微小な凹凸表現
色彩情報	◎ 有(デジタルカメラ搭載)	× 無
計測又は撮影条件	◎ 天気や日照の影響少	○ 天気や日照の影響少。春期又は秋期
緊急時の対応	◎ 現地に立ち入る必要がないため、災害発生後でも安全に作業の実施が可	◎ 現地に立ち入る必要がないため、災害発生後でも安全に作業の実施が可
自動化の可能性	◎ 全てがデジタルデータであるため自動処理に向いている	◎ 全てがデジタルデータであるため自動処理に向いている
計測コスト	◎ 従来測量よりもコストダウン	× 航空機の費用がかかりコストがかかる

図2-2

3. 計測の具体的実施方法

実施の方法のフローチャートを図3-1に示し、下記に方法を説明する。

1) レーザ計測

実際の河道状況を微地形表現が可能となるように高密度で均等なデータを取得する為に、GPS測距儀に用いる長脚を用いてデータを取得する。

またこの際、各測定ポイントにて測定したデータの合成と測定データの公共座標に補正する為に設けた評定点を複数河道に設け、VRS-RTKにて観測する。

2) データ解析・地形図作成

各測定ポイントから行なったレーザ計測により得られたデータを合成する。DTM(Digital Terrain Model: 土地を被覆する地物・植生を含まないモデル)を作成・検証し、地形図を作成する。

3) 微地形判読及び検証

レーザ計測時に同時取得した現地RGBデータを合成した現地3次元モデルから現在管理している定期横断測量成果を重ね合わせ検証する。



VRS-RTK による観測



評定点

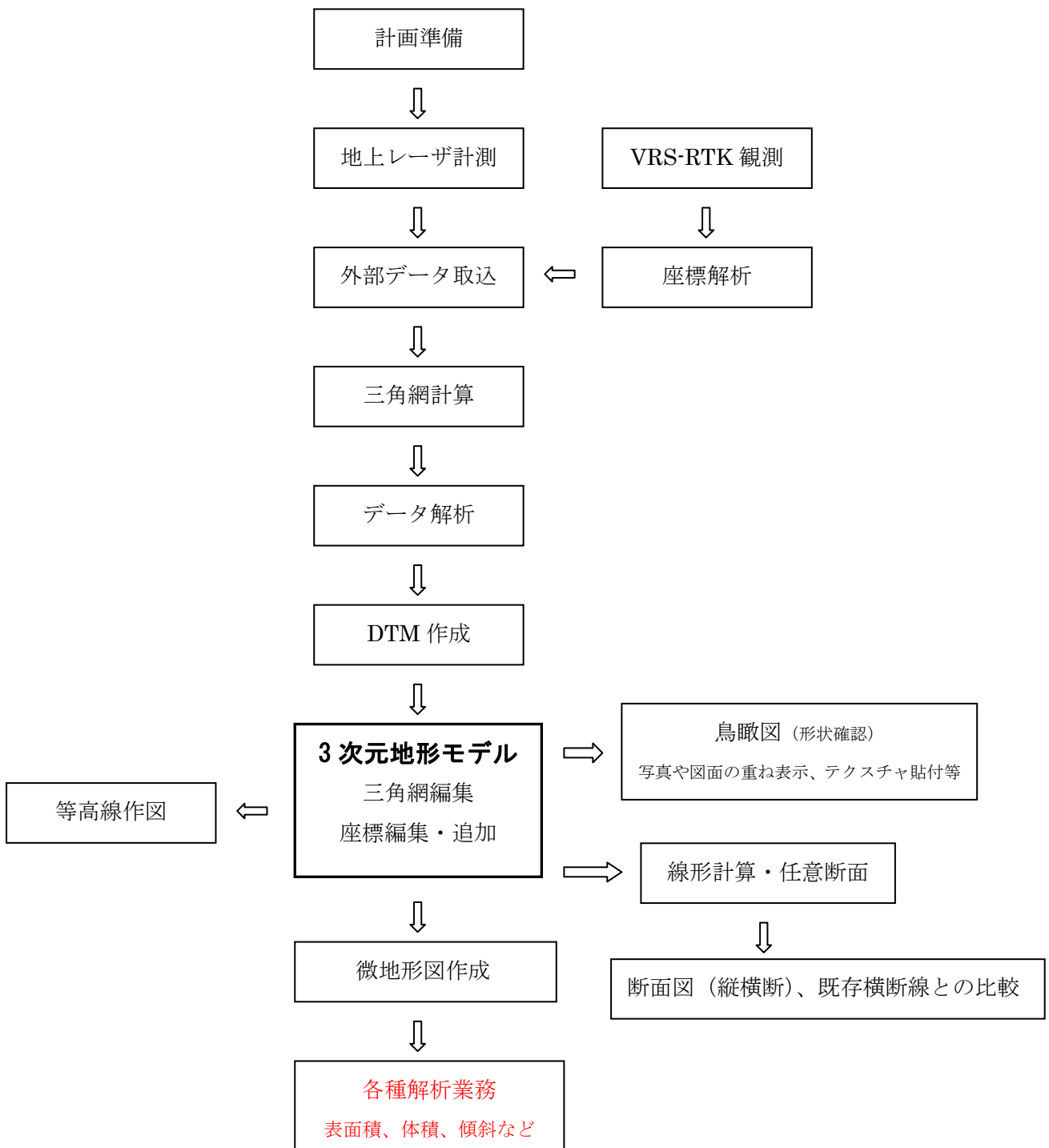


図3-1

4. 地上形LSの精度管理

地上形LS計測技術の特徴を利用することによって、高精度な3次元地形データの取得が迅速に行なえる可能性が結果として判明した。

実際今回の計測には、大井川の計測区間（合計3.2km）においての計測には5日間・安倍川（計測区間2k）の計測には3日間の時間しか要していない。

地上形LSによる座標点群のデータのトータルステーション(以下TS)による実測も精度管理を行い、それぞれ計測範囲の5%で行なう作業も行なった。

地上形LSから得られる点群データは計測機より照射される赤外線スポットの中のΦの中の最大反射率を極座標で取得する。（表4-1、図4-1参照）

つまり赤外線スポットは測定対象地点において斜めに当たればそのΦの拡がりは大きくなり、計測データにおいて誤差が生じる可能性が高くなる。

従って地上形LS計測の際には計測範囲5%の実測による精度管理は必要であると考えられる。

材質	反射率(%)	表面形状
白い紙	100まで	拡散反射
大きい材木(松、乾燥状態)	94	
雪	80~90	
ビールの泡	88	
白い石造建築	85	
石灰石、粘土	75	
印刷された新聞紙	69	
ティッシュ(2枚重ね)	60	
落葉樹	標準 60	
針葉樹	標準 30	
炭酸塩の砂(乾燥)	57	
炭酸塩の砂(湿り)	41	
海岸の砂、砂漠	標準 50	
木製パレット	25	
滑らかなコンクリート	24	
小石の入ったアスファルト	17	
溶岩	8	
黒いネオプレン(合成ゴム)	5	
黒いゴム製タイヤ	2	
反射シート	1250	
光沢の無い白いプラスチック	110	
光沢の無い黒いプラスチック	17	
透明なプラスチック	50	

表4-1

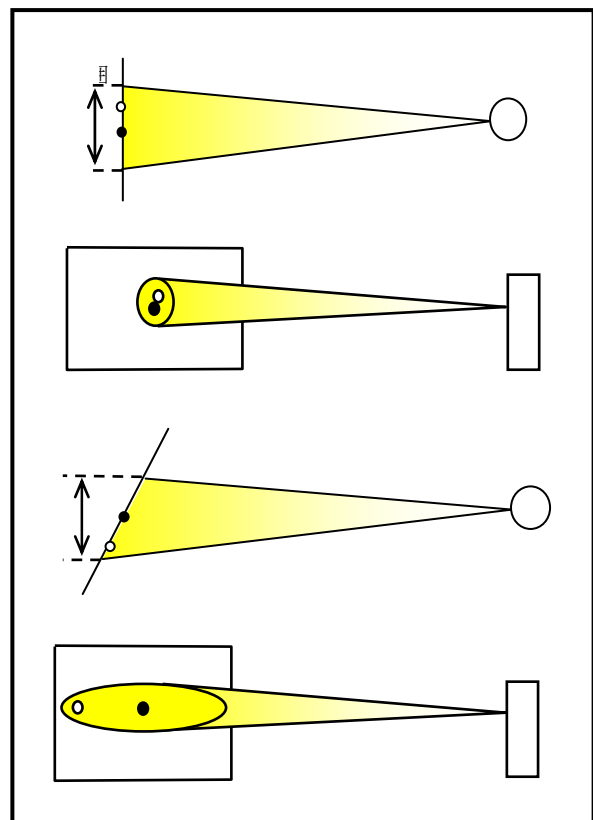


図4-1

今回使用した地上形LSのメーカー発表スペックは下記の通り。（表4-2）

測定範囲	2~1000m (反射率80%以上の自然物)
------	------------------------

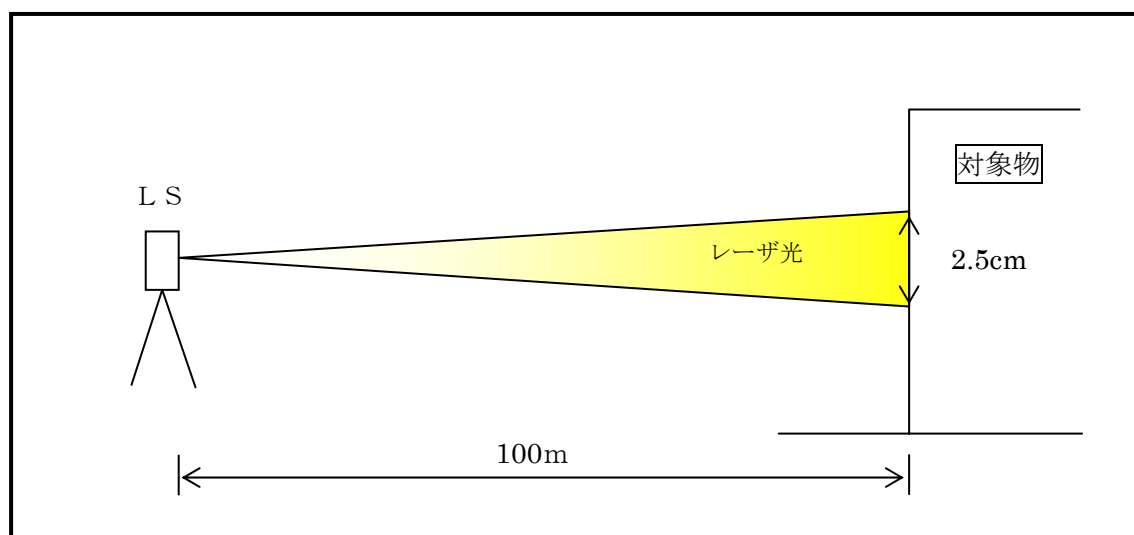
スキャン角／速度	
上：ラインスキャン(上下)方向	スキャン範囲：80° ・ 1～20 スキャン/秒 (注)
下：フレームスキャン(左右)方向	スキャン範囲：360° ・ 0.01～15 度/秒 (注)
レーザ光の広がり角	0.25mrad (100mの距離で 2.5cm のビーム拡散)
測定精度	標準± 1 cm (カタログ値)
本体重量、 サイズ(高さ×直径)	13 kg 435×φ210 mm
電源	11～15VDC (max3A)
動作環境	-10～50℃ (-20～60℃) 雨天、霧、降雪不可

表4-2

今回の計測では河道状況の起伏にもよるが、100mのピッチにて計測を行なった。Φの広がり等を考慮するとやはり地上形LSのメーカー毎の機器としての性能差にもよるが、実測(TS)との精度検証を行なう為には地上形LSによる計測の際に、ラインスキャン(上下)方向とフレームスキャン(左右)方向の赤外線照射ステップ角度の設定も重要な要因となる。

成果品に求められる精度によってそれらステップ角度を調整する必要があるが、ステップ角度を細かくすればするほど計測時間はかかり、それは計測コスト及びデータ処理の時間に跳ね返ってくることとなる。

現在地上形LSの計測に関しては未だ「計測単価」という標準的な費用算出根拠は整備されていないが、計測の際には精度確保の必要性から計測の際のステップ角度の打ち合わせは必要だと考えられる。



赤外線レーザーの拡幅模式図

計測の際に各計測ポイントにおいて取得したデータのマージ(合成)に使用する評定点の数によっても計測点群データの精度に影響が出ることから、今回の計測では各計測ポイントから見渡せる評定点の数は最低15点を確保した。(一般的には4点以上)

この評定点の計測に対して使用したのがVRS-RTKであり、今回の計測に際して計測スピードの大幅な向上と計測人員の大幅な削減に繋がる要因となった。

また地上形L Sによる水中計測は不可能な為、水中はVRS-RTKにより端点を捕捉した。

実際計測チームの人員は3人で行い、大井川の計測区間（合計3.2km）においての計測には5日間・安倍川の計測には3日間の時間しか要さなかった。

つまり計測員の数も少なく、計測日数の短縮が可能となり大幅なコスト削減をもたらす効果もある。

5. 各種解析

今回の計測にて取得したDTM（数値地形モデル）の特色はその範囲内においては、自由自在に縦断・横断面図の作成が可能というのが大きな特色がある。

従来の管理手法（TSによる定期横断測量）にて計測したデータとの比較は図5-1に示す。

この図5-1からも明らかであるが、地上形L Sによるデータは非常に精度の高い計測が高速且つ安価に計測が可能という事が理解できる。また計測して微地形図として作成した範囲に関しては、自由自在に縦断・横断面図を抽出する事も可能である。（図5-2）

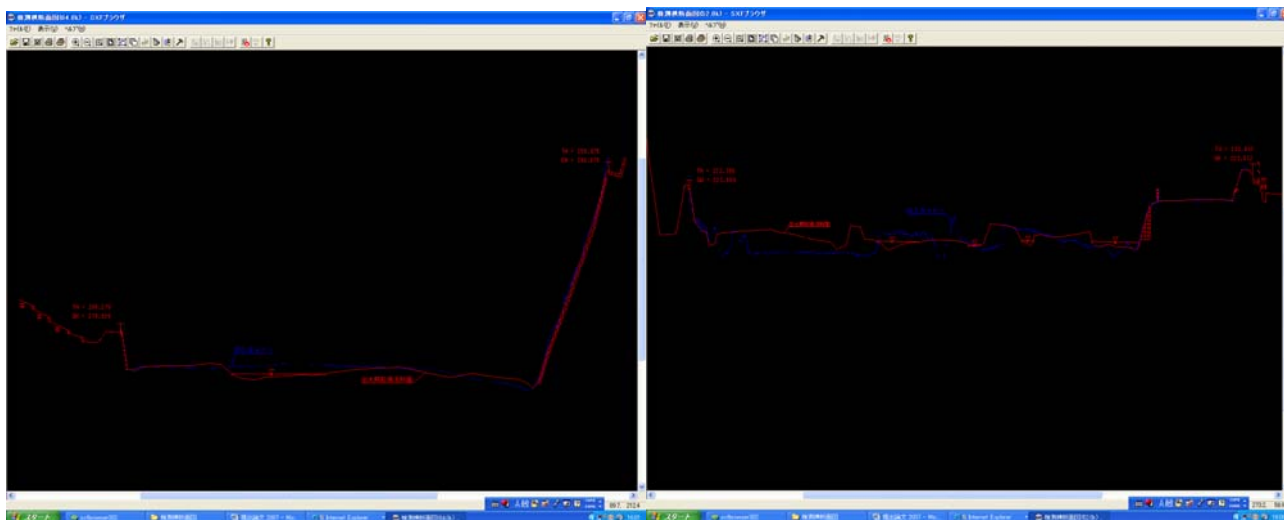


図5-1

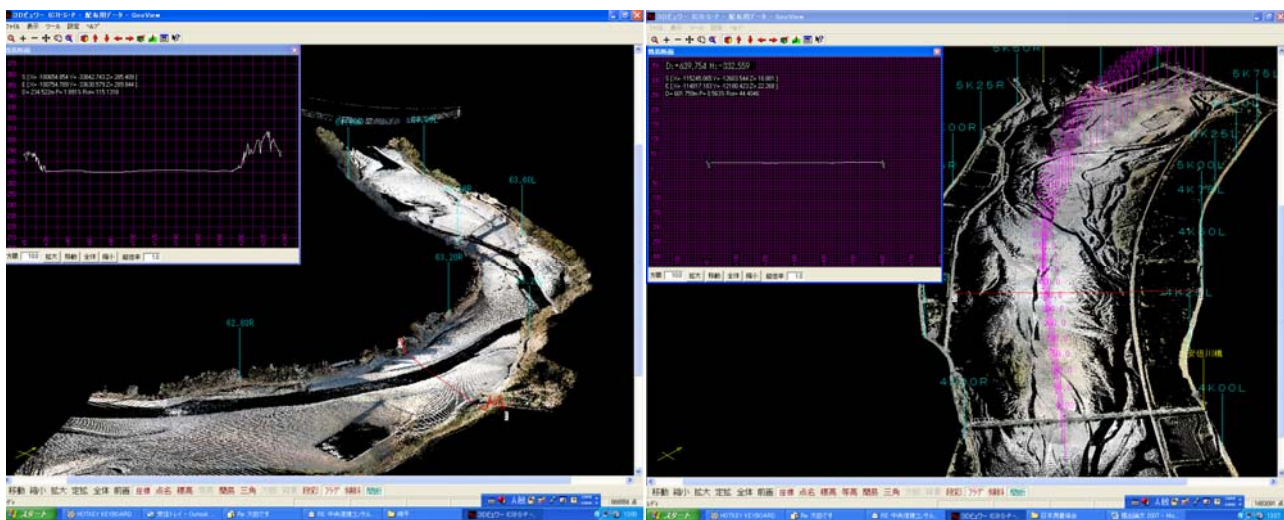


図5-2

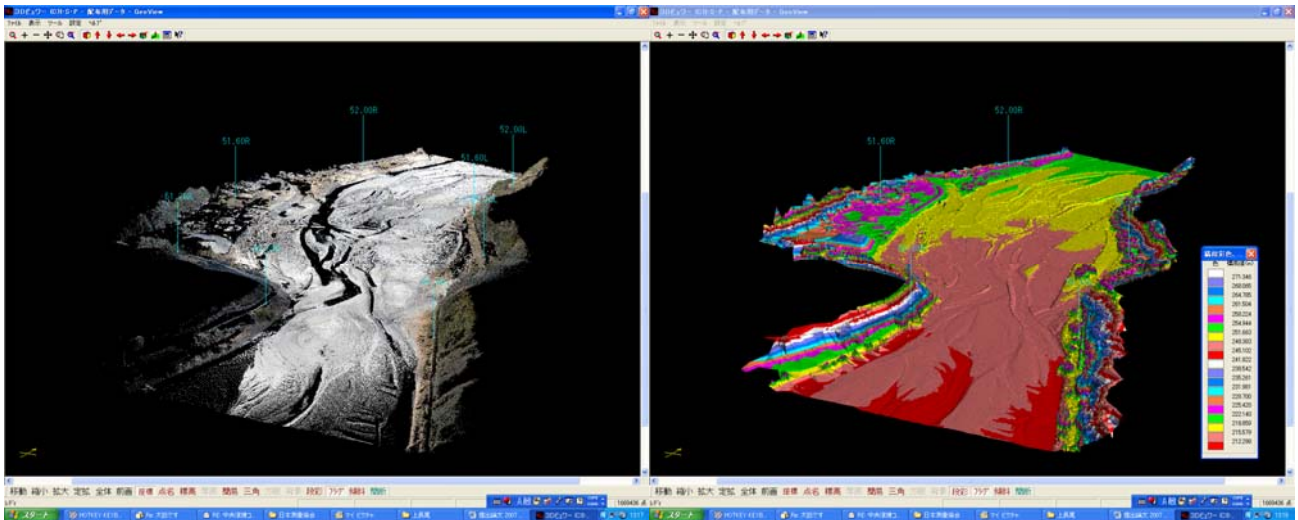


図5-3

一級河川大井川の県管理区間は（河口より 24, 0k~72, 0k）の内の土砂管理計画は毎年行なう 400m ピッチの定期横断測量により 48km 区間の土量、平均河床の比較（年ごと比較）を行い、静岡県として土砂移動の現状調査分析を行い検討しているが、やはり横断測量ピッチが粗い為総合的な土砂移動の把握は難しいことから、今回行なった地上形 L S と VRS-RTK を合わせた計測手法は今後の河川土砂移動のメカニズムを明らかにする上で非常に有効な手法といえる。

また微地形図以外にも点群データは 3 次元での表現も可能なことから、この他に「陰影図（地表の斜度の程度に応じて陰影を付け立体感を表した図）」や「段彩図（標高におうじて色彩を変化させた図）」などによる情報を加えることによって、より確実度の高い微地形の変化を捉えることが出来る。（**図5-3**）

また経年的に行なう、もしくは毎年同じ時期に計測を行ない作成した微地形図や 3 次元河道データを重ね合わせる等の解析を行なう事によって土砂の動きを流砂系としてとらえ

- (1) 土砂生産箇所の的確な抽出。
- (2) 的確な土砂移動現象の予測と観測。
- (3) 土砂生産・流出ポテンシャルの評価。

等に対しても有効な効果を上げることが可能となる。

6. 終わりに

一級河川安倍川においての計測も従来測量と比較してコストは 3 分の 1、スピードは 8 倍という大幅な効率向上がみられた。

ここ数年の社会資本の整備、特にハード面に対しての国や県をはじめとする地方自治体の予算は、それを確保する事自体大変厳しい環境になってきております。

血税を投じる社会資本整備に対して、より無駄のない予算執行の為に先端的な技術を取り入れるといった特に公共分野にこの計測手法が積極的に取り入れられる事は、納税者としても非常に喜ばしいことである。